

陕西大西沟重晶石菱铁矿—银铜子银铜铅多金属
特大型矿床成矿成晕模式杨耀民^{①②} 方维萱^③(① 西安工程学院资源系 西安 710054; ② 西北有色物化探总队
西安 710068, ③ 中国科学院贵阳地球化学研究所 贵阳 550002)

摘 要 大西沟—银铜子银多金属矿床由同生断裂—热水流体—地球化学动力学的多重耦合作用形成。矿床在区域上处于柞山镇 Pb、As、Cu 地球化学省, NWW 向富 Cu、Mn、Ba、Pb、Ag 和 NW 向低 Pb 高 Cu、As 及 NE 向富 Pb、Zn、Cu 的地球化学带 3 者交汇部位。矿床原生异常组合由西向东为 Fe、Cu、Mn、Ba(大西沟)→Cu、Ag、Pb、Zn、Ba、Mn(银铜矿)→Pb、Zn、Ag、Ba(银铅矿)。成矿成晕具有热水同生沉积—交代→热水混合同生沉积→热水同生沉积演化阶段性。成矿系统的动力学为成矿的主控因素, 使地球化学失稳, 触发矿质的骤沉。

关键词 特大型多金属矿床 热水流体 地球化学场 成矿成晕模式

矿床成矿成晕模式研究由欧阳宗圻、刘泉清提出并用之于具体的矿产勘查。随后方维萱^[1-2]先后对陕西凤太地区多金属矿床、小秦岭地区金矿床进行了成矿成晕模式研究, 并建立了地质地球化学预测系统。本文利用上述思路对柞山地区大西沟—银铜子多金属特大型矿床进行成矿成晕模式研究。

1 地质背景

大西沟—银铜子矿床为秦岭泥盆系 Pb、Zn、Ag、Au、Cu 多金属成矿带中典型的热热水沉积矿床, 银储量达特大型, 铅铜锌的综合储量达中型^①。矿床位于秦岭微板块北缘被动陆缘断陷盆地——柞山一级沉积盆地中^②, 佛坪古隆起将其与西部的西成、凤太盆地隔断。盆地基底为震旦系耀岭河群中—基性火山熔岩, 以底砾岩和古风化壳与中泥盆统地层呈角度不整合接触, 说明在中泥盆统之前该区曾抬升, 遭受强烈剥蚀。盆地内地层主要为中上泥盆统, 为一套近万 m 厚的海相复理石泥砂碎屑沉积建造、碳酸盐沉积建造, 矿床就位于碳酸盐沉积建造向碎屑岩沉积建造过渡部位的热热水沉积岩相中。

矿床被山阳—凤镇断裂和商丹断裂夹持, 位于同生断裂系统控制的三级构造热热水沉积成矿盆地和四级热热水沉积成矿洼地中, 其北东向、南北向、北西向次级同生断裂控制矿床的形态。矿区西北部有柞水支期黑云母花岗岩出露, 呈岩基状侵入到含矿地层中, 在接触带附近形成数百 m—千余 m 的堇青石黑云母角闪岩带。沿山阳—凤镇大断裂有加里东—印支期基性—中

1999-08-31 收稿。

①李丰收. 陕西省柞水县大西沟—银铜子菱铁、多金属矿床成因研究及找矿远景分析. 西北金属矿产地质, 1994

②方维萱. 秦岭造山带泥盆纪构造热热水沉积成矿盆地与流体成岩成矿系统特征及其演化规律(博士学位论文), 1999

酸性侵入岩体出露,区内有印支期煌斑岩脉沿近南北向及北东向断裂分布。

大西沟菱铁矿体主要由6号、7号2个层状菱铁矿体构成,其次有层状重晶石磁铁矿体、层状铜矿体及层状重晶石矿体,主矿体长达2000m,厚数十至百余m。矿物组成有黄铜矿、砷黝铜矿、菱铁矿、磁铁矿、重晶石、石英、绢云母等。13号银铜铅矿体为银铜子矿床主矿体,长达1900m,厚1~20m。在13号矿体上盘几十m范围内,平行分布着8个小铅矿体组,在深部变成铜或银矿体。其金属矿物有方铅矿、闪锌矿、黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿、银黝铜矿及银、铜、锑的硫化物,脉石矿物有钠长石、重晶石、铁锰方解石、铁白云石、绿泥石等。

2 矿床地球化学异常特征

2.1 分散流异常特征

大西沟—银铜子多金属矿床在柞山镇盆地富Pb、As、Cu成矿地球化学省中,为大西沟—黑沟层控型多金属成矿地球化学亚带^①。该亚带地球化学背景以富Pb、高Mn、Cu、As为特征,并发育一航磁(ΔT)异常。沿走向地球化学特征变化明显,Pb沿走向高背景值区间(或异常区)出现,Mn则为东、西高,中部低,As为高背景或异常,大西沟地区形成Cu、Zn、Mn、Ba、Pb、As吻合较好,近等轴状多元素高值区。元素异常分带具明显的对称性:

大西沟银铜子矿床:Cu—Mn—Ba(大西沟菱铁矿矿床(共生铜))—Pb—Ag—As(银铜子银多金属);对应的黑沟地区:由东向西为Pb—Ag—As→Cu—Mn—Ba;

中段:表现为南北分带Cu—Pb—Ag(图1)。

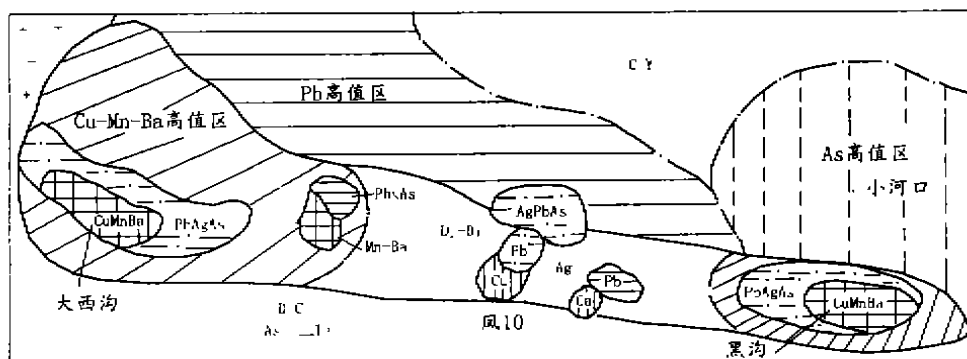


图1 大西沟—黑沟菱铁多金属矿带地球化学分带示意图

Fig.1 Geochemical zonation of the Daxigou—Heigou siderite polymetallic deposit
(据西北冶金地质勘探公司地球物理探矿队,1982)

上述矿床的对称分带,也正好处于地球化学场(梯度和组分)的急剧相变部位,即NWW向富Cu、Mn、Ba、Pb、Ag地球化学带与NW向低Pb富Cu、As地球化学带和NE向富Pb、Zn、Cu地球化学带3者交汇部位。同时其东西2端向中部发生地球化学变异(由Cu—Mn—Ba异常场转为高背景场,由东西向分带转化为南北向分带),反映出矿床区域地球化学成矿类型的转变。

矿床也处于南北向地球化学场变化部位,即:从北向南:Cu—(As)—Sb(秦岭造山带)→Pb、

① 宋国梁等,陕西凤县—丹凤地区区域化探编图及成矿预测研究报告,1982,内部资料。

As(柞水东)→Pb、Ag、Fe、Cu、Ba、As、 ΔT (大西沟—黑沟)→Cu、As、Au(二台子、山阳)→As、Ag(镇安)→Hg、Sb(西坡岭)。

上述南北分带,具有由多金属向贵金属、中温组合向低温组合、简单向复杂的地球化学场变化特征,明显受东西向隆起、沉积断陷的控制,在隆起部位(迷魂阵—山阳、王家楞)富 Cu,断陷盆地部位富 Pb、Zn,边界断裂(boundary synfaults)附近富 Hg、Sb、Au 的成矿特征。

2.2 原生晕地球化学异常特征

对矿床原生晕异常研究得出,从大西沟重晶石菱铁矿(西)→银铜子银铜铅多金属矿床(东)具有 Fe、Ba→Fe、Cu→Pb、Ag、Cu、Zn 矿化分带特征。大西沟矿床原生晕异常元素组合为 Cu(Ⅲ)—Mn(Ⅲ)—Ba(Ⅲ),银铜子 13 号主矿体走向(自西向东)原生晕元素异常组合特征为 Pb(Ⅲ)—Zn(Ⅲ)—Ag(Ⅲ)—Mn(Ⅲ)—Ba(Ⅲ)(反映银铅矿体,Pb 异常宽度可达 110 m)→Cu(Ⅲ)—Ag(Ⅲ)—Pb(Ⅱ—Ⅲ)—Zn(Ⅱ)—Ba(Ⅱ)—Mn(Ⅰ)(Ag 异常最大宽度可达 150 m,反映银铜矿体)→Pb(Ⅱ—Ⅲ)—Zn(Ⅱ)—Mn(Ⅰ)(反映 Pb 矿体)。

3 地球化学场分析

3.1 地层地球化学特征

本区前泥盆纪地层为成矿系统的矿源层,其中前泥盆纪地层 Ag、Mn、Zn、Ba、Pb、As 含量高。Ag 一般 $0.1 \times 10^{-6} \sim 0.3 \times 10^{-6}$, Mn: $1 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6}$, Ba $> 500 \times 10^{-6}$, Zn $> 70 \times 10^{-6}$, Pb $> 25 \times 10^{-6}$, As $> 7 \times 10^{-6}$ 。

含矿地层主要为中泥盆统青石组地层,微量元素 As、Zn、Pb、Ba、Sb、Ag、B 表现为高背景场或异常场特征。同时中泥盆统青石组(D_{2q})、上泥盆统下东沟组(D_{3x})、下石炭统二浴河组(C_{1r})中 Pb 的高背景或异常随 Ag 多金属矿床的消失,其地球化学特征也消失或不明显(黑沟以东地区),同时含矿地层(D_{2q})至上覆层位(D_{3x}、C_{1r})的富集元素组合,由复杂变简单(由富 Cu、Zn、Mn、Ba、Pb、As 变为富 Pb、As)。

3.2 构造地球化学特征

1) 同生断裂构造地球化学特征 矿床所处柞山一级断陷盆地,北部边界同生断裂为商丹断裂带,南部边界同生断裂为山阳—凤镇同生断裂,沿走向发生的走滑运动在盆地中产生一系列同生断裂体系,其次级或更次级的同生断裂一般呈 NE、NW 或 EW 向展布,控制三级构造热水沉积成矿盆地或四级成矿洼地,形成复杂的海底古地理格局。商丹断裂沿走向发生 Cu→Pb→Cu→Pb 的地球化学带互变,山阳—凤镇断裂表现为 As、Pb 地球化学高背景场特征,次级或较次级的同生断裂不仅控制成矿的热水沉积盆地(洼地),同时也是矿质上升运移的通道。其中可发现液压致裂(致爆)形成的同生角砾岩(角砾状碳酸盐岩,钠长硅质角砾岩)或其两侧由热水同生交代作用形成沿裂隙分布的铁绿泥石细脉、网脉、细脉状黄铁矿等,其地球化学特征表现为 Pb—Zn—Ag—As—Hg—Sb—Co—Cu—Mn 等综合异常场。

2) 显微构造地球化学特征 方维萱^[5]研究认为,矿石条纹、条带状构造发育,是一种热水同生沉积矿石构造,一般由黄铜矿、砷黝铜矿、黄铁矿和脉石矿物组成。其中,银黝铜矿中相对 As、Zn 含量高,Ag、Sb、Cu、Au 含量低;黄铜矿中 Ag 含量高而 As、Au、Sb 含量低。矿床中形成的密集斜交层面的劈理和 S 型裂隙构造与成矿也有较大关系。斜交层面的劈理发育密度一般在 300~400 条/m,最大可达 1200 条/m,镜下发现其中充填细脉状黄铁矿、银黝铜矿、黄铜矿等。其黄铜矿中 Au、As、Sb 含量较高,Ag 含量低。银黝铜矿与早期形成矿物相比,Ag、Sb、Cu、Fe、Au

含量升高,而 As、Zn 含量较低。其发育部位 Ag、Cu 品位均变富,S 型裂隙构造与层理交汇部位有银黝铜矿,随着沿层理远离 S 型裂隙,银黝铜矿的含量明显减少,这种构造使 Ag 品位增高。主成矿后期的“X”形张裂隙中,银黝铜矿含 Ag、Sb、Au、Fe 高,含 As、Zn 低。显微构造的矿物地球化学特征表明,银铜主要富集于不同成分的沉积纹层过渡部位、斜交层面的密集劈理区、S 形及 X 形裂隙构造中。

3.3 岩浆岩地球化学特征

矿床西北部有柞水印支期黑云母二长花岗岩出露,可能侵入到矿床的下伏地层,为热水流体的对流循环提供热动力。其中除 SiO_2 较低外, TiO_2 、 Fe_2O_3 、 FeO 、 MgO 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 含量均高于中国花岗岩的平均含量。

4 成矿热水流体地球化学特征

大西沟重晶石菱铁矿—银铜子银铜铅多金属矿床就位于三级热水沉积成矿盆地中的 2 个四级成矿洼地中。大西沟四级成矿洼地中的重晶石菱铁矿,在强还原条件下热水流体发生地球化学骤沉形成的。成矿热水流体为还原性、弱碱性的单一流体,重晶石矿体则为氧化态酸性富 Ba 的硫酸质热水流体在发生快速化学反应时沉淀于菱铁矿矿体之上。银铜子银铜铅多金属矿体就位于银铜子四级热水沉积洼地中,总体上为热水混合作用导致成矿系统发生沉淀成矿。

根据包裹体成分分析及结合矿体蚀变等地球化学特征,大西沟矿床从下到上热水活动的规律为热水同生交代作用(矿体底盘围岩中)→富 Fe^{2+} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 还原态、偏碱性的热水同生沉积→富 Ba^{2+} 、 SO_4^{2-} 氧化态、偏酸性热水同生沉积→热卤水同生沉积,高 K^+ 、 Ba^{2+} 、 Ca^{2+} 、 As^{2+} 、 Sb^{2+} 等元素的热卤水同生沉积形成矿层之上的绢云母泥岩。银铜子矿体从下到上热水流体变化规律为底部富 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 还原态、偏碱性热水同生沉积成岩成矿、向上过渡为富 Cu^{2+} 、 As^{2+} 、 Sb^{3+} 、 Ba^{2+} 、 SO_4^{2-} 的氧化态、偏酸性热水同生沉积成岩成矿作用并与富 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 As^{2+} 、 Sb^{3+} 、 Na^+ 、 Ag^+ 、 SiO_2 酸性还原态热水发生混合而引发同生沉积。中部为 Na^+ 、 BO_3^- 、 SiO_2 的偏酸性、还原态热水与富 Fe^{2+} 、 CO_3^{2-} — HCO_3^- 的还原态、偏碱性热水混合同生沉积和二者的同生沉积作用、硫化物增多和形成硫化物岩显示了富 Ag^+ 、 Cu^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Zn^{2+} 、 S^{2-} — HS^- 的酸性还原态热水活动增强,上部富 Ba^{2+} 、 SO_4^{2-} 氧化态酸性热水的混入而发生热水同生沉积作用形成重晶石。

5 成矿成晕模式

5.1 沉积盆地动力学背景

秦岭泥盆纪沉积盆地为秦岭微板块和板内裂陷盆地及其北缘被动陆缘之上的断陷盆地,均是在深部岩石圈近南北向收缩背景下,浅部陆壳在地壳抬升与地堑裂陷动力学机制下形成的伸展盆地。柞山盆地被商丹断裂和凤镇断裂夹持,在古生代时为扬子地块北缘被动陆缘、后为秦岭板块北缘的被动大陆边缘盆地、在“北压南扩”的状态下,缓慢南北向俯冲消减及伸展裂陷均伴有一定的走滑,从而在盆地内部产生了呈北东、北西向或北东东、北西西向网状交织复合或单独出现的同生断裂系统,大西沟—银铜子矿床即就位于大西沟—穆家庄二级盆地中的大西沟—银铜子三级热水沉积成矿盆地、而矿质分别就位于 2 个四级成矿洼地中。

5.2 区域地球化学场

通过以上对区域地球化学场分析,矿床处于地球化学场的突变带,即从 NWW 向富 Cu、Mn、Ba、Pb、Ag 地球化学带与 NW 向低 Pb 富 Cu、As 地球化学带及 NE 向富 Pb、Zn、Cu 地球化学带 3 者的交汇部位,同时从南向北,区域元素组合特征表现为 Cu、Sb→Pb、Ag、Fe→Cu、As、Au→As、Ag→Hg、Sb,是特殊地球化学分带。大西沟重晶石菱铁矿主要元素异常组合为 Ba、Mn、Cu,银铜子多金属矿主要元素组合为 Pb、Zn、Ag、Mn(银铅矿)、Ba→Cu、Ag、Pb、Zn、Ba、Mn(银铜矿)。

5.3 成矿成晕多阶段特征

根据矿化特征、矿物生成顺序及热水沉积层序、矿物共生组合关系,成矿成晕系统划分出如下 3 个主要成矿演化阶段^[3]:

1)菱铁矿-铁白云岩海底热水同生沉积-交代成矿阶段 位于热水沉积岩层序最下部,含 $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ 的偏碱性热水和富 SiO_2 偏酸性热水进入三级热水沉积盆地中,交代底部的碳酸盐软泥形成铁白云岩-硅质铁白云岩。 $(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Mn})\text{CO}_2$ 络合物因压力分解,形成 FeCO_3 大量同生沉积。沿菱铁矿层走向尖灭部位亦有铁白云岩、硅质铁白云岩,原生晕以 Fe、Mg、Mn、Ba、Sr 为组合特征。

2)银-多金属海底热水混合同生沉积成矿阶段 在菱铁矿层形成之后,富含 Na、B、 SiO_2 海底热水喷流形成含电气石钠长似碧玉岩,后富 Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb 的热水进入三级热水沉积盆地的最低洼地部位与富 $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$ 的偏碱性热水发生混合作用,后又有富 Ba^{2+} 、 SO_4^{2-} 酸性氧化态海底热水混入(形成透镜状、条带状重晶石)。3 种不同性质的热水混合,发生剧烈化学反应,引起矿质的骤沉,形成矿体,原生晕组合为 Pb、Zn、Ag、As、Sb、Cu、Co、Fe、Ba、B、Na。

3)铜银-铜钡海底热水同生沉积成矿阶段 随氧化程度的不断提高,富 Ba^{2+} 、 SO_4^{2-} 酸性氧化态热水不断进入三级热水沉积盆地,早期阶段形成铜银矿体、银矿体,元素组合以 Cu、Ag、Sb、As、Fe、Ba、Na 为主,中期阶段形成以 Fe、Cu、Ba、As、Sr 为组合特征的含磁铁矿重晶石矿体、重晶石磁铁矿体。晚期阶段形成独立的重晶石矿体,重晶石含量在 85%~99%,以 Ba、Sr 组合为特征。

5.4 成矿物质来源

对柞山盆地沉积地层进行地层地球化学研究,前泥盆系地层 Cu、Ag、Au、Ni、Co、Ba、Pb、As、Zn 均较泥盆系含量高,同时结合 Pb 同位素年龄均大于泥盆纪年龄^{[4]①},成矿物质可能来源于前泥盆纪地层。海水及沉积柱的压力和地下热动力驱动热水流体对流循环,并活化淋滤出成矿物质于热水流体中,沿同生断裂体系的多幕式活动被带入海底发生热水同生沉积或交代成矿。

5.5 成矿地球化学机理

大西沟重晶石菱铁矿-银铜子银铅铜多金属特大型矿床的形成是同生断裂-热水沉积成矿盆地-地球化学动力学多重耦合作用形成的。其中同生断裂系统受大陆动力学机制的驱动发生多幕式活动,使矿质被淋滤、活化、迁移,就位于三级热水沉积成矿盆地中的四级成矿洼地,而不同性质(T、P、Eh、pH、M 等)含矿热水流体在海底洼地滞流还原封闭的环境中,为热水层流体系^[5]。当某一地球化学因素或物理化学条件发生改变时,就会发生地球化学体系中的矿质骤沉而产生菱铁矿层、银铜矿层、银铅矿层及重晶石矿层。每种矿体均产于热水沉积环境

① 李丰收,陕西省柞水县大西沟-银铜子菱铁、多金属矿床成因研究及找矿远景分析,西北金属矿产地质,1994

的突变部位,随着热水流体新物质成分的注入而建立起新的平衡相态,为下次热水沉积成矿旋回提供条件。其菱铁矿形成于强还原、偏碱性-弱碱性沉积环境中,重晶石矿形成于氧化态酸性条件下,银铜矿、银铅矿则形成于还原环境中。

成矿后期构造叠加-改造较弱,成矿较小,对矿体破坏也相对较小,只在后期的裂隙构造中对先存矿体有再度轻微的富集。

参考文献

- 1 方维萱.陕西省凤太地区多金属矿床成矿成晕模式及地球化学找矿预测系统.第四届勘查地球化学学术讨论会论文选集.武汉:中国地质大学出版社,1991.10
- 2 方维萱.陕西小秦岭地区金矿成晕模式及地质地球化学预测系统.第五届全国勘查地球化学学术讨论会论文选集.武汉:中国地质大学出版社,1994
- 3 方维萱.柞水银洞子特大型银多金属矿床矿物地球化学研究.矿物学报,1999;19(3)
- 4 王相,唐荣杨,李实.秦岭造山带与金属成矿.北京:冶金工业出版社,1996
- 5 方维萱.银洞子-大西沟特大型矿床中重晶石岩类特征及成岩成矿作用.岩石学报,1999;15(3)

METALLOGENIC MODEL AND HALO - FORMING PATTERN OF THE DAXIGOU—YINDONGZI SILVER POLYMETALLIC DEPOSIT IN SHAANXI

Yang Yaomin^{①②} Fang Weixuan^③

(^① Xi'an College of Engineering, Xian, 710054; ^② Geophysico-geochemical Party, Northwest China Bureau of Geology Mineral Resources, Xi'an, 710068; ^③ Geochemical Laboratory of Mineral Deposit, Academia Sinica, Guiyang, 550002)

Abstract The Daxigou—Yindongzi silver polymetallic deposit in Shaanxi was formed by coupling of contemporaneous fault, thermal fluid, geochemical dynamics. It is located in the Zaishan Pb, As, Cu geochemical domain. Its elementary assemblage, from west to east, features Fe, Cu, Mn, Ba(Daxigou)→Cu, Ag, Pb, Zn, Ba, Mn→Pb, Zn, Ag, Ba. The geochemical halo is characterised by the evolution of thermal sedimentation, metasomatism→complex thermal contemporaneous deposition→thermal contemporaneous deposition. The unbalance of geochemical condition leads to the deposition of ore-forming materials, which is the main ore-controlling factor.

Key words super large polymetallic deposit; thermal fluid; geochemical field; metallogenic model and halo-forming pattern